

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-184512

(43)Date of publication of application : 09.07.1999

(51)Int.Cl.

G05B 19/416
 B25J 9/16
 // G05B 19/18
 G05B 19/19

(21)Application number : 09-364967

(71)Applicant : YASKAWA ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 19.12.1997

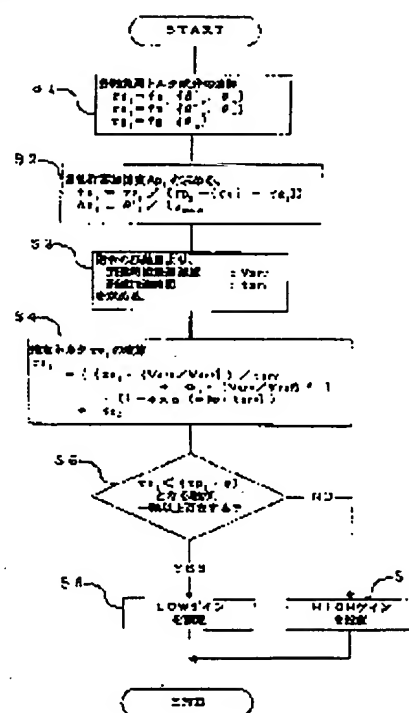
(72)Inventor : KARIYAZAKI HIROKAZU
 OSHIMA MASAO

(54) CONTROL GAIN DETERMINING METHOD FOR ROBOT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To switch a gain corresponding to the state of a load applied to a shaft to operate a robot at high speed within the range not to saturate an output torque.

SOLUTION: This method has a step for finding the required acceleration/ deceleration time in the case of executing a moving command from the set acceleration/deceleration, step (S4) for proximately estimating the output torque of each axis motor at the time of acceleration and deceleration completion concerning the operating command generated based on this required acceleration/deceleration time and defining that value as an estimate torque and step for comparing (S5) this estimate torque with the previously stored torque parameter for comparison of each axis, setting low (S6) the gain of feed forward control when the estimate torque exceeds the torque parameter for comparison, setting high (S7) the gain of feed forward control when the estimate torque does not exceed the torque parameter for comparison and applying a command to the motor.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

CLIPPEDIMAGE= JP411184512A

PAT-NO: JP411184512A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11184512 A

TITLE: CONTROL GAIN DETERMINING METHOD FOR ROBOT

PUBN-DATE: July 9, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

KARIYAZAKI, HIROKAZU

OSHIMA, MASAO

COUNTRY

N/A

N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

YASKAWA ELECTRIC CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP09364967

APPL-DATE: December 19, 1997

INT-CL (IPC): G05B019/416;B25J009/16 ;G05B019/18
;G05B019/19

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To switch a gain corresponding to the state of a load applied to a shaft to operate a robot at high speed within the range not to saturate an output torque.

SOLUTION: This method has a step for finding the required acceleration/
deceleration time in the case of executing a moving command from the set
acceleration/deceleration, step (S4) for proximately
estimating the output
torque of each axis motor at the time of acceleration and
deceleration
completion concerning the operating command generated based
on this required
acceleration/deceleration time and defining that value as

an estimate torque
and step for comparing (S5) this estimate torque with the
previously stored
torque parameter for comparison of each axis, setting low
(S6) the gain of feed
forward control when the estimate torque exceeds the torque
parameter for
comparison, setting high (S7) the gain of feed forward
control when the
estimate torque does not exceed the torque parameter for
comparison and
applying a command to the motor.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-184512

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月9日

(51) Int.Cl.⁵
G 0 5 B 19/416
B 2 5 J 9/16
// G 0 5 B 19/18
19/19

識別記号

F I
G 0 5 B 19/407 Q
B 2 5 J 9/16
G 0 5 B 19/19 W
19/18 D

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-364967

(22) 出願日 平成9年(1997)12月19日

(71) 出願人 000006622

株式会社安川電機

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

(72) 発明者 飯屋崎 洋和

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

株式会社安川電機内

(72) 発明者 尾島 正夫

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

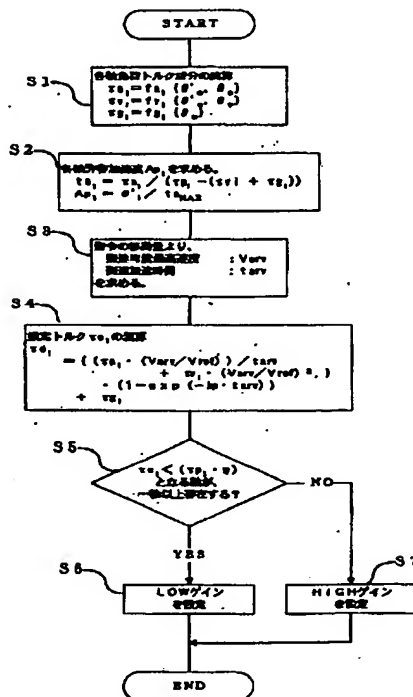
株式会社安川電機内

(54) 【発明の名称】 ロボットの制御ゲイン決定方法

(57) 【要約】

【課題】 出力トルクが飽和しない範囲でロボットを高速に動作させるために、軸にかかる負荷の状態に応じてゲインを切り替えられるようにする。

【解決手段】 設定加減速度より、移動指令を実行する際に必要な所要加減速時間を求めるステップと、前記所要加減速時間に基づいて生成される動作指令において、加速完了時及び減速完了時の各軸モータの出力トルクを近似的に推定し、その値を推定トルクとするステップ(S4)と、前記推定トルクと、予め記憶されている各軸の比較用トルクパラメータとを比較し(S5)、推定トルクが比較用トルクパラメータを越える場合は、フィードフォワード制御のゲインを低く設定し(S6)、推定トルクが比較用トルクパラメータを越えない場合は、フィードフォワード制御のゲインを高く設定して(S7)、モータに指令を与えるステップとを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ロボットの教示点の位置、姿勢や各軸の動作方向、動作速度によって、重力モーメント、加速度による慣性、他軸の動作による干渉トルク等の影響を受ける駆動軸を有するロボットの制御ゲイン決定方法において、

設定加減速度より、移動指令を実行する際に必要な所要加減速時間を求めるステップと、

前記所要加減速時間に基づいて生成される動作指令において、加速完了時及び減速完了時の各軸モータの出力トルクを近似的に推定し、その値を推定トルクとするステップと、

前記推定トルクと、予め記憶されている各軸の比較用トルクパラメータとを比較し、推定トルクが比較用トルクパラメータを越える場合は、フィードフォワード制御のゲインを低く設定し、推定トルクが比較用トルクパラメータを越えない場合は、フィードフォワード制御のゲインを高く設定して、モータに指令を与えるステップとを有することを特徴とする、ロボットの制御ゲイン決定方法。

【請求項2】 前記設定加減速度は、各教示点で教示された各駆動軸の位置、動作方向、及び動作速度からなる教示データと、予めパラメータとして格納されたロボット各部の質量及び重心位置より、各軸に発生する負荷トルク成分を、加減速度の影響を受ける負荷トルク成分である加速度項トルクと、加減速度の影響を受けない負荷トルク成分である速度項トルク及び重力項トルクとに分けて演算して一時的に記憶し、指令速度まで立ち上がった場合の各軸に発生するトルクが許容トルクを越えないような許容加減速度を求め、これを設定加減速度とし、前記推定トルクを求める段階においては、前記加速度項トルク及び速度項トルクを、予めパラメータとして与えられた時定数と、前記所要加減速時間より、一次遅れ関数として近似し、これに重力項トルクを加えたものを推定トルクとして求めることを特徴とする請求項1記載のロボットの制御ゲイン決定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ロボットの制御ゲイン決定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 一般に経路作業を行なうロボットは、加減速制御を行い、滑らかな動きを得ている。指令生成時には、一定の加速及び減速を行う、直線型加減速制御がよく用いられている。この指令をサーボ制御部によって平滑化する。図2は、ロボットの各軸の移動距離と到達速度、及び出力トルクの関係を表すグラフである。図2(a)のように、十分移動量が大きい場合には、動作速度は指令速度に到達する。通常は、発生する出力トルクは許容値を越えないように加減速度時定数が決められて

いる。しかし、図2(b)のように、指定された移動命令の移動距離が短い場合、生成される指令が教示された指令速度に到達しない。この場合、サーボ遅れにより実際のモータの速度は、動作指令の到達速度にまで到達しないため、モータの出力トルクに余裕がある。そこで、このような短い移動距離を動作する場合には、図2

(c)のようにフィードフォワード制御のゲインを高く設定し、モータの応答を速めて、動作の高速化を図る方法が一般的に採られている。従来、このゲインの切替の判定は、移動距離や各軸の移動量を、予め記憶された移動量判定値と比較して、判定値より小さい場合にゲインを高く設定するようにしていた。あるいは、指令の到達速度が、教示時の指令速度に到達しているかどうかを判定し、到達していない場合にゲインを高く設定するようにしていた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、実際にロボットが動作する場合は、ロボットの姿勢や動作速度、及び他軸からの干渉トルク等によって、各軸にかかる負荷状態は異なる。そのため、図2(d)のように移動量が小さい、あるいは速度が到達していない場合でも、静止負荷が大きい、あるいは他軸からの干渉トルクが大きい場合には、高いゲインが適用されると、出力トルクが飽和してしまう。一方、負荷が大きい場合に出力トルクが飽和しないように移動量判定値を設定しようとすると、高いゲインが適用されるパターンは少なくなるため、高速化の効果が得られない。そこで、本発明は、出力トルクが飽和しない範囲でロボットを高速に動作させるために、軸にかかる負荷の状態に応じてゲインを切り替える、ロボットの制御方法を提供することを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】 上記問題を解決するため、本発明は、ロボットの教示点の位置、姿勢や各軸の動作方向、動作速度によって、重力モーメント、加速度による慣性、他軸の動作による干渉トルク等の影響を受ける駆動軸を有するロボットの制御ゲイン決定方法において、設定加減速度より、移動指令を実行する際に必要な所要加減速時間を求めるステップと、前記所要加減速時間に基づいて生成される動作指令において、加速完了時及び減速完了時の各軸モータの出力トルクを近似的に推定し、その値を推定トルクとするステップと、前記推定トルクと、予め記憶されている各軸の比較用トルクパラメータとを比較し、推定トルクが比較用トルクパラメータを越える場合は、フィードフォワード制御のゲインを低く設定し、推定トルクが比較用トルクパラメータを越えない場合は、フィードフォワード制御のゲインを高く設定して、モータに指令を与えるステップとを有することを特徴とするものである。上記手段により、各軸の到達速度や負荷の状態に応じて、フィードフォワード制御のゲインの切替が行われるので、出力トルクが飽和し

ない範囲でロボットを高速に動作させることが出来る。
【0005】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施例を、図に基づいて説明する。図3は、教示点とロボットの形態を示したスケルトン図で、教示点(S)を動作開始点、教示点(E)を動作終了点とする。図4は、本実施例で使用するロボットの機構を表したスケルトン図で、3軸で構成される。1は大地に平行な軸回りに自由度を持つ第1軸、2は第1軸1回りに駆動する第1腕、3は第1腕2の先端部に設けられ、第1軸1に平行な軸回りに自由10度を持つ第2軸、4は第2軸3回りに駆動する第2腕、5は第2腕4の先端部に設けられ、第2軸に平行な軸回りに自由度を持つ第3軸、6は第3軸5回りに駆動し、先端部に質点を有する第3腕である。各軸は1自由度ずつ有し、合計3自由度を有する、XY平面内を動作する*

*ロボットである。そして、各軸がそれぞれ、重力モーメント、加速度による慣性、他軸の動作による干渉トルク等の影響を受ける。ロボットの加減速制御は、通常、各軸毎に最大加減速度をパラメータとして持っており、この加減速度と指令速度から、必要な加減速時間を求め、その中で最大の加減速時間に、全軸を描いて加減速制御を行っている。また、場合によっては、特開平5-46234号公報のように、位置、姿勢から負荷イナーシャを演算し、これに基づいて加減速度を可変にする方法などが採られている。これらの方法によって求められた加減速時間を元にロボットを動作させる際、各軸にかかる負荷トルクを推定することを考える。

【0006】図4に示すモデルについて、ラグランジェの運動方程式から、第1軸1にかかる負荷トルクを導出すると、(1)式の形で表されることが知られている。

$$\begin{aligned} \tau_{L1} = & m \{ \{ 2\cos(\theta_2 + \theta_3) r_1 r_3 + 2\cos \theta_2 r_1 r_2 + 2\cos \theta_3 r_2 r_3 + r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 \} \theta_1'' \\ & + \{ \cos(\theta_2 + \theta_3) r_1 r_3 + \cos \theta_2 r_1 r_2 + 2\cos \theta_3 r_2 r_3 + r_2^2 + r_3^2 \} \theta_2'' \\ & + \{ \cos(\theta_2 + \theta_3) r_1 r_3 + \cos \theta_3 r_2 r_3 + r_3^2 \} \theta_3'' \\ & - 2r_1 \{ \sin(\theta_2 + \theta_3) r_3 + \sin \theta_2 r_2 \} \theta_1' \theta_2' \\ & - 2r_3 \{ \sin(\theta_2 + \theta_3) r_1 + \sin \theta_3 r_2 \} \theta_1' \theta_3' \\ & - 2r_3 \{ \sin(\theta_2 + \theta_3) r_1 + \sin \theta_3 r_2 \} \theta_2' \theta_3' \\ & - r_1 \{ \sin(\theta_2 + \theta_3) r_3 + \sin \theta_2 r_2 \} \theta_2'^2 \\ & - r_3 \{ \sin(\theta_2 + \theta_3) r_1 + \sin \theta_3 r_2 \} \theta_3'^2 \\ & - g \{ \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) r_3 + \cos(\theta_1 + \theta_2) r_2 + \cos \theta_1 r_1 \} \} \\ & \dots (1) \end{aligned}$$

ここで、 τ_{L1} は、第1軸1に発生する負荷トルク、 θ_1' 、 θ_2' 、 θ_3' は各軸の指令速度、 θ_1'' 、 θ_2'' 、 θ_3'' は各軸の加速度、 g は重力加速度を示す。距離 r_1 、 r_2 、 r_3 、質量 m は、既知である。指令速度 θ_1' 、 θ_2' 、 θ_3' 、角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 が与えられるとすれば、上記(1)式は、(2)式に示すように加速度 θ_1'' 、 θ_2'' 、 θ_3'' のみをパラメータとする式へと書き換えられる。

$$\tau_{L1} = a_1 \cdot \theta_1'' + a_2 \cdot \theta_2'' + a_3 \cdot \theta_3'' + \tau_{Lv1} + \tau_{Lg1} \dots (2)$$

ここで、

$$a_1 = m \{ 2\cos(\theta_2 + \theta_3) r_1 r_3 + 2\cos \theta_2 r_1 r_2 + 2\cos \theta_3 r_2 r_3 + r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 \}$$

$$a_2 = m \{ \cos(\theta_2 + \theta_3) r_1 r_3 + \cos \theta_2 r_1 r_2 + 2\cos \theta_3 r_2 r_3 + r_2^2 + r_3^2 \}$$

$$a_3 = m \{ \cos(\theta_2 + \theta_3) r_1 r_3 + \cos \theta_3 r_2 r_3 + r_3^2 \}$$

$$\begin{aligned} \tau_{Lv1} = & m \{ -2r_1 \{ \sin(\theta_2 + \theta_3) r_3 + \sin \theta_2 r_2 \} \theta_1' \theta_2' \\ & - 2r_3 \{ \sin(\theta_2 + \theta_3) r_1 + \sin \theta_3 r_2 \} \theta_1' \theta_3' \\ & - 2r_3 \{ \sin(\theta_2 + \theta_3) r_1 + \sin \theta_3 r_2 \} \theta_2' \theta_3' \\ & - r_1 \{ \sin(\theta_2 + \theta_3) r_3 + \sin \theta_2 r_2 \} \theta_2'^2 \\ & - r_3 \{ \sin(\theta_2 + \theta_3) r_1 + \sin \theta_3 r_2 \} \theta_3'^2 \} \end{aligned}$$

$$\tau_{Lg1} = m \{ -g \{ \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) r_3 + \cos(\theta_1 + \theta_2) r_2 + \cos \theta_1 r_1 \} \}$$

【0006】加速度=速度/時間であるから、加速時間 ☆に式が変形できる。

を t とおくと、 $\theta'' = \theta' / t$ とおけるので、次のよう☆

$$\begin{aligned} \tau_{L1} = & \{ a_1 \cdot \theta_1' + a_2 \cdot \theta_2' + a_3 \cdot \theta_3' \} / t + \tau_{Lv1} + \tau_{Lg1} \dots \\ & \dots (3) \end{aligned}$$

指令速度 θ^* が既知であることから、 $\{ \}$ 内も係数と☆50☆見ることが出来る。従って(3)式は次のように変形で

きる。

$$\tau_{Li} = \tau_{Lai} / t + \tau_{Lvi} + \tau_{Lgi}$$

ここで、

$$\tau_{Lai} = a_1 \cdot \theta_1' + a_2 \cdot \theta_2' + a_3 \cdot \theta_3'$$

第2軸3、第3軸5についても、ラグランジェの運動方程式から導出される負荷トルクを求める式が異なるだけで、上記と同様の手法により、それぞれ(4)式に相当する式を得ることが出来る。即ち、 $\tau_{Li} = \tau_{Lai} / t + \tau_{Lvi} + \tau_{Lgi}$ ……(4) 上記は、負荷軸に働く負荷トルクについて考えられている。これをモータ軸に換算して考える。モータ軸におけるトルクは、(負荷(アーム側)から減速機を介して与えられるトルク)+(モータ軸自身の回転による慣性モーメント)となる。すなわち、

$$\tau_a = \tau_L / (\eta \cdot N) + J_a \cdot \theta_a''$$

但し、

τ_a : モータ軸トルク、 τ_L : 負荷軸トルク

η : 効率、 N : 減速比

J_a : モータ軸イナーシャ、 θ_a'' : モータ軸加速度

$\theta_a'' = \theta_a' / t$ より

$$\tau_{ai} = (\tau_{Lai} / t + \tau_{Lvi} + \tau_{Lgi}) / (\eta \cdot N) + J_{ai} \cdot \theta_{ai}' / t = \{ \tau_{Lai} / (\eta \cdot N) + J_{ai} \cdot \theta_{ai}' \} / t + (\tau_{Lvi} + \tau_{Lgi}) / (\eta \cdot N)$$

ここで、

$$\tau_{ai} = \{ \tau_{Lai} / (\eta \cdot N) + J_{ai} \cdot \theta_{ai}' \}$$

$$\tau_{vi} = \tau_{Lvi} / (\eta \cdot N)$$

$$\tau_{gi} = \tau_{Lgi} / (\eta \cdot N)$$

とおく。

【0007】このようにして、ラグランジェの運動方程式から、モータ軸にかかる負荷トルクを、加速度により発生するトルク(慣性モーメント): τ_{ai} 、速度により発生するトルク(遠心力、コリオリ力): τ_{vi} 、重力により発生するトルク(重力モーメント): τ_{gi} の3つに分離できる。以下、それぞれを、加速度項トルク、速度*

$$\tau_{ei} = (\tau_{ai} \cdot (V_r / V_{ref})) / t_r + \tau_{vi} \cdot (V_r / V_{ref})^2 + \tau_{gi} \dots \dots (6)$$

さらに、サーボ遅れを考慮する。一次遅れで近似する ※ ※と、

$$\tau_{ei} = \{ (\tau_{ai} \cdot (V_r / V_{ref})) / t_r + \tau_{vi} \cdot (V_r / V_{ref})^2 \} \cdot (1 - \exp(-k_p \cdot t_r)) + \tau_{gi} \dots \dots (7)$$

【0011】ここで、 k_p は推定時定数であり、予めパラメータとして用意しておく。なお、厳密には、加速完了時の各軸角度は始点より移動している。しかし、その差は十分に小さいとして、 τ_{gi} を求める際の各軸角度は、始点位置で近似して良い。こうして、実際に各軸にかかる負荷トルクを、近似的に推定することが出来る。予めパラメータとして、許容トルク: T_{pi} 、効率係数: η_i を用意しておく。そして、前記推定トルク τ_{ei} と、許容トルク $T_{pi} \times$ 効率係数 η_i を比較する。比較の結果、 $\tau_{ei} < (T_{pi} \cdot \eta_i)$ となった場合は、負荷トルクにはまだ余裕がある。従って、FF制御のゲインを高く★50

*項トルク、重力項トルクと称する。これらは、次のように各軸速度、および角度の関数となる。

$$\tau_{ai} = f_{ai} \{ \theta_i', \theta_i \}$$

$$\tau_{vi} = f_{vi} \{ \theta_i', \theta_i \}$$

$$\tau_{gi} = f_{gi} \{ \theta_i \}$$

※ * = 1 ~ 3 軸

……(5)

【0008】なお、ここではロボット先端部の質点のみを考慮してラグランジェの運動方程式を解いているが、ロボットアーム自身の質量などについては、集中マスのモデルを考え、各マスにより発生する負荷トルクを求め、最後に個別の負荷トルクを合計したものが、各軸にかかる負荷トルクとなる。従って、(5)式の各項についても、同様に各マス毎の値を演算して合計をとればよい。また、上記では直列駆動型のロボットについて述べているが、並列駆動型(平行リンク型)のロボットについても、ラグランジェの運動方程式から導出される負荷トルクの演算式の形が異なるだけで、同様の手法が適用できる。

20 【0009】このようにして求められる負荷トルクは、各軸の速度が指令速度に到達した場合の推定値である。しかし、実際の動作指令の移動量が小さければ、図2(b)のように、軸速度は指令速度: V_{ref} まで到達しない場合がある。ここで、実際に動作指令が到達する速度: V_r 、 V_r に到達するのに要する加速時間: t_r を考慮する。移動量が十分に大きく、定常速度部分が存在する場合は、 $V_r = V_{ref}$ である。また、上位から与えられる指令に対し、サーボ制御されるモータの動作は、サーボ遅れを含んだものとなる。これらを考慮に入れて、各軸にかかる負荷トルクを、推定トルク: τ_{ei} として求める。

【0010】まず、上位指令について考えると、(4)式より

40 ★設定し、応答性を上げることが出来る。一方、 $\tau_{ei} > T_{pi} \cdot \eta_i$ となった場合には、負荷トルクが十分に大きいということなので、FF制御のゲインは低く設定し、トルクの飽和を回避する。

【0012】以下では、FF制御のゲインを高く設定した状態を「HIGHゲイン」、低く設定した状態を「LOWゲイン」と称する。なお、指令生成時の加減速時間の設定方法の一つとして、特開平7-261822号公報にて示された方法がある。特開平7-261822号では、上記(4)式を元に、各軸が許容トルクを越えない範囲での最短の加減速時間を求める方法について述べ

ている。これによると、(4)式を加速時間 t について解くことにより、次の(8)式を得ることが出来る。

【0013】(加速時)

$$t_{ai} = \tau_{ai} / (T_i - (\tau_{vi} + \tau_{gi}))$$

$$(\tau_{ai} > 0 : T_i = \tau_{pi})$$

$$(\tau_{ai} < 0 : T_i = -\tau_{pi})$$

(減速時)

$$t_{di} = -\tau_{ai} / (T_i - (\tau_{vi} + \tau_{gi}))$$

$$(\tau_{ai} > 0 : T_i = -\tau_{pi})$$

$$(\tau_{ai} < 0 : T_i = \tau_{pi}) \quad \dots\dots (8)$$

【0014】こうして求められた加減速時間は、軸速度が指令速度に到達したときにかかる負荷トルクを想定して求められる。こうして加減速時間が求めれば、これを元に、直線型加減速制御を指令生成部に行わせることができる。そこで、加減速時間決定を、特開平7-261822号公報の方法により行い、その際に求めた加速度項トルク τ_{ai} 、速度項トルク τ_{vi} 、重力項トルク τ_{gi} をローカルデータ格納エリアに記憶しておく。そして推定トルク τ_{ei} を求める場合には、先に記憶しておいた

τ_{ai} 、 τ_{vi} 、 τ_{gi} を用いて求めることにより、無駄な演算時間を費やさずに、より効率的な加減速制御を行うことが出来る。図5は、本方法を実施するためのロボット制御装置の概略を示すブロック図である。図中11は教示部、12は前処理部、13は指令生成部、14はサーボ制御部、15は駆動部、21は教示データ格納エリア、22はパラメータ格納エリア、23は加減速時間格納エリア、24はFFゲイン指定値格納エリアである。前処理部12は、教示データ格納エリア21から始点及び終点位置、指令速度等を読み込み、これらとパラメータ格納エリア22に記憶された各種パラメータを用いて、加減速時間を決定し、加減速時間格納エリア23へ格納する。さらにFFゲインの切替判定を行い、結果をFFゲイン指定値格納エリア24へ格納する。指令生成部13は、所定周期毎に実行され、加減速時間格納エリア23に格納された加減速時間をもとに加減速が行われるよう、指令を生成し、所定周期毎にサーボ制御部14へ指令を出力する。サーボ制御部14は、この指令生成部13からの指令に応じて、駆動部15を駆動させる。その際のFF制御は、FFゲイン指定値格納エリア24に格納されたゲイン指定値によって実行される。図1

は、本発明における、前処理部12での制御ゲイン切替方法の処理に関するフローチャートである。図において、Sに続く数値はステップ番号を示す。また、各変数のサフィックス i は、軸番号を表すものである。各ステップに於ける処理は、ロボットの各軸に対して行われる。

【0015】[S1] ロボットの始点に於ける姿勢と、各軸指令速度 θ'_{i} より、各軸の負荷トルク成分を求める。求めるのは、(5)式における各成分、

τ_{ai} : 加速度項トルク

τ_{vi} : 速度項トルク

τ_{gi} : 重力モーメント

である。

【0016】[S2] [S1]で求めた負荷トルク成分より、各軸許容加速度 A_{pi} を求める。予めパラメータ格納エリア22に格納されている各軸の許容トルク τ_{pi} より、(8)式から、各軸許容加速時間 t_{ai} を求め、 t_{ai} の最大値 t_{amax} を求めて、この t_{amax} と各軸指令速度 θ'_{i} より、各軸許容加速度 A_{pi} を求める。

$$A_{pi} = \theta'_{i} / t_{amax}$$

【0017】[S3] 始点から終点までの移動量と各軸許容加速度 A_{pi} より、実際に到達可能な到達速度 V_r 、及び V_r に到達するまでの加速時間 t_r を求める。求められた t_r は、加減速時間格納エリア23へ格納する。移動量が十分に大きい場合は、 $V_r = V_{ref}$ となる。

【0018】[S4] 各軸において、加速完了時点での推定トルク τ_{ei} を、(7)式より求める。

【0019】[S5] 推定トルク τ_{ei} と、(許容トルク $\tau_{pi} \times$ 効率係数 η_i)を、全軸について比較する。

($\tau_{ei} < \tau_{pi} \cdot \eta_i$)となる軸が一軸でも存在する場合は[S6]に移行する。

($\tau_{ei} < \tau_{pi} \cdot \eta_i$)となる軸が存在しない場合は、

[S7]に移行する。

【0020】[S6] FFゲイン指定値格納エリア24に、「HIGHゲイン」を格納する。

【0021】[S7] FFゲイン指定値格納エリア24に、「LOWゲイン」を格納する。

【0022】こうして、前処理部において各ステップ毎のFFゲインが決定される。指令生成部13は、所定周期毎に動作指令を生成してサーボ制御部14へ送るが、その際に、FFゲイン指定値格納エリア24からFFゲイン指定値を読み込み、サーボ制御部14へそのFFゲインを指定する。サーボ制御部14は、指令生成部13より送られてきた動作指令で、フィードフォワード制御を指令生成部13より指定されたFFゲインで実行して、駆動部15を駆動する。上記フローチャートでは、加速到達時のみについて述べられているが、減速時についても、加速度項トルクの正負符号を反転させることにより、同様に行うことが出来る。

【0023】

【発明の効果】以上述べたように本発明によれば、出力トルクが飽和しないようなFFゲインを決定することができるため、トルク不足による振動などを起こすことなく、高速にロボットを動作させることが出来、低負荷でのサイクルタイムの短縮、高負荷での寿命向上を得られるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示すフローチャート

【図2】従来例の問題を説明するための、ロボットの各軸の移動距離と到達速度、及び出力トルクの関係を表す

グラフ

【図3】本実施例を説明するための教示位置とロボットのスケルトン図

【図4】本実施例で使したロボットの構成を示すスケルトン図

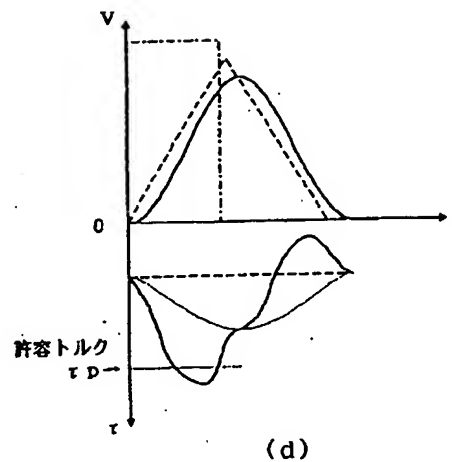
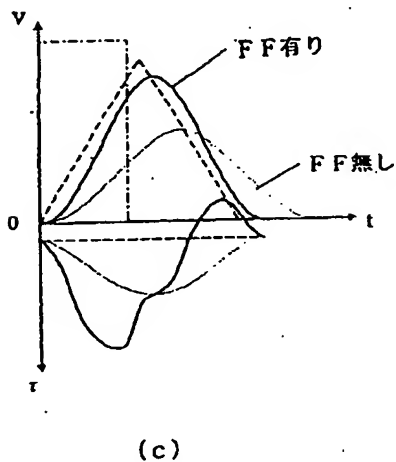
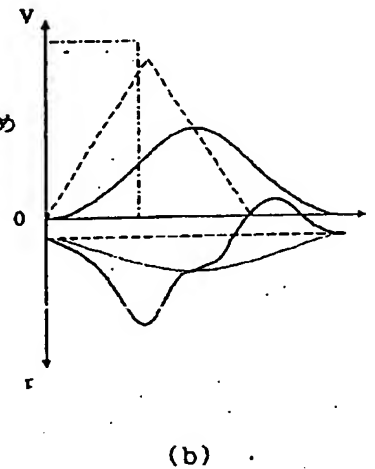
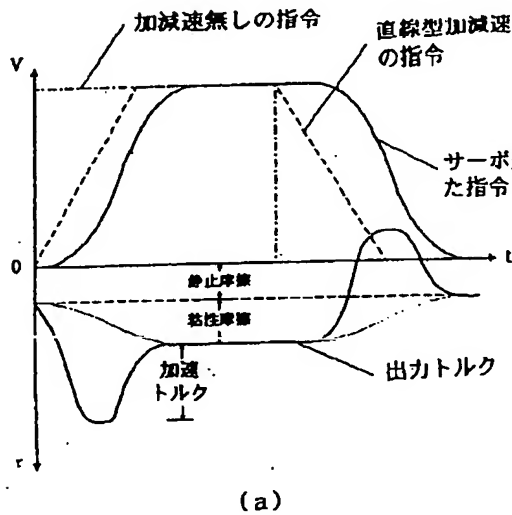
【図5】本発明の一実施例を示すブロック図

【符号の説明】

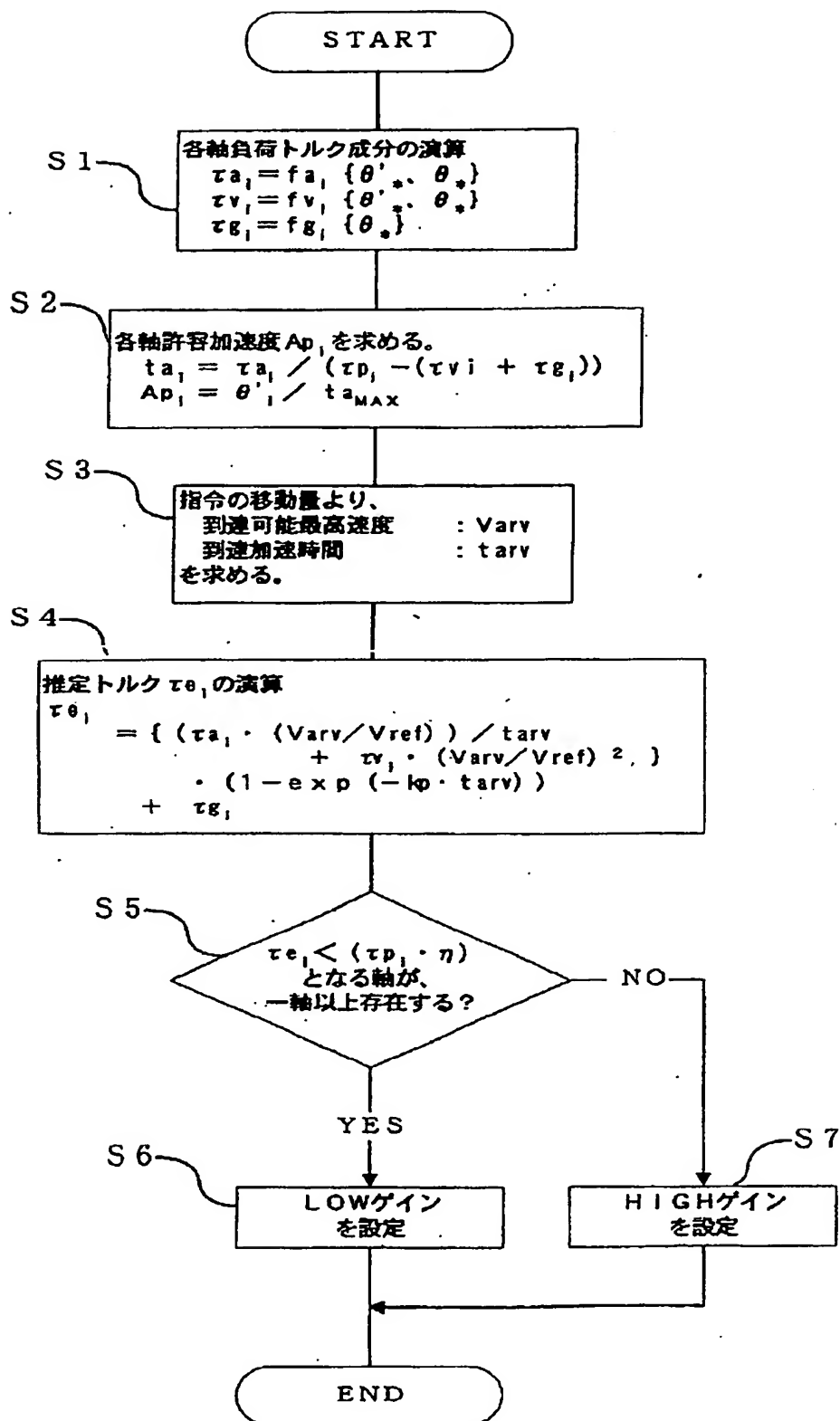
- 1 第1軸
- 2 第1腕
- 3 第2軸
- 4 第2腕

- 5 第3軸
- 6 第3腕
- 11 教示部
- 12 前処理部
- 13 指令生成部
- 14 サーボ制御部
- 15 駆動部
- 21 教示データ格納エリア
- 22 パラメータ格納エリア
- 10 23 加減速時間格納エリア
- 24 FFゲイン指定値格納エリア

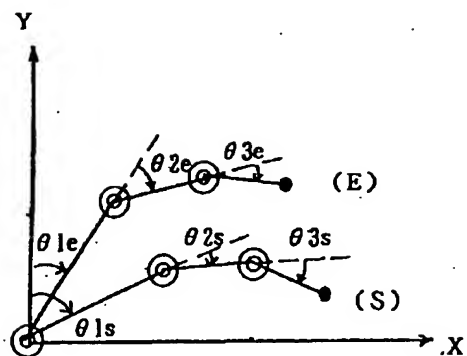
【図2】



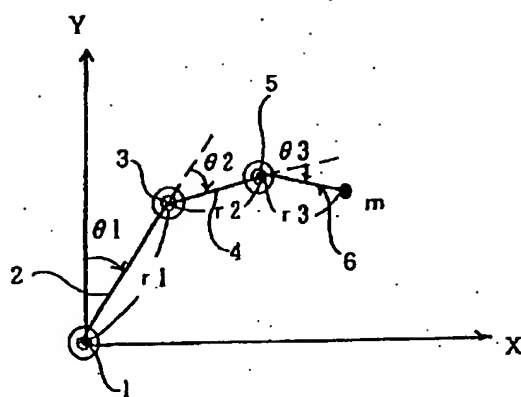
【図1】



【図3】



【図4】



【図5】

